

doi: 10.11720/wtyht.2016.6.05

靳职斌.利用铝饱和指数评价中酸性岩浆岩的含矿性——以山西省 210 个中酸性岩体为例[J].物探与化探,2016,40(6):1082-1088.http://doi.org/10.11720/wtyht.2016.6.05

Jin Z B.The application of aluminum saturation index to the evaluation of ore-bearing potential of intermediate-acid magmatic rocks: A case study of 210 intermediate-acid rock bodies in Shanxi Province[J].Geophysical and Geochemical Exploration,2016,40(6):1082-1088.http://doi.org/10.11720/wtyht.2016.6.05

利用铝饱和指数评价中酸性岩浆岩的含矿性 ——以山西省 210 个中酸性岩体为例

靳 职 斌

(山西省地球物理化学勘查院,山西 运城 044004)

摘 要: 利用常量元素地球化学特征参与评价岩体的含矿性具有重要意义。通过计算山西境内 210 个中酸性岩体的铝饱和指数,发现含矿岩体与非矿岩体的铝饱和指数存在一个明显的分界值,即铝饱和指数大于 1.7 的岩体基本与矿有关,小于此值的岩体绝大多数尚未发现与矿有关。铝饱和指数可能是反映岩体中矿元素活化释放程度或能力的一项重要指标,是本次探讨的重点,对评价其他区域中酸性岩的含矿性有重要参考意义。

关键词: 中酸性岩;铝饱和指数;含矿性评价;分界值

中图分类号: P632 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2016)06-1082-07

中酸性岩在我国的出露面积占全国面积的 9% 以上,与内生多金属矿如钨、锡、钼、铜、铅、锌、金、银、铀等密切相关,其成矿作用除了提供热源外,也是重要的矿质来源。中酸性岩浆在成岩过程中,成矿元素 W、Sn、Mo、Cu、Pb、Zn、Au、Ag、U 等以类质同象方式赋存在造岩矿物晶格中,替代 Mg、Ca、Na、K 等碱性元素。当岩体受到岩浆期后等热液作用,造岩矿物晶体会发生蚀变而被破坏,伴随这一过程,赋存在晶格中的成矿元素被活化释放出,迁移至构造空间内沉淀成矿,这是岩浆热液型多金属矿成矿的重要机制之一^[1]。

而在实际找矿工作中,经常会遇到成矿元素含量普遍高却不成矿的“呆化”现象,如有些岩体中成矿元素 W、Sn、Mo、Cu、Pb、Zn、Au、Ag 等平均含量很高,甚至临近边界品位,范围也较大,但总是难以进一步富集成矿,远低于经济可采工业品位。可见岩体中成矿元素的含量不是唯一的先决因素,还存在一个有效释放的问题,只有成矿元素所赋存的造岩矿物晶体遭到破坏,使成矿元素能在短时间内“破格”而出大量释放,才可能聚集成矿。因此对于岩体的含矿性评价,除了考虑成矿元素在岩体中的含量

外,对岩体释放成矿元素程度或能力的评价也是一个很重要的方面^[2]。

岩体对成矿元素的释放能力决定于造岩矿物的稳定性,从根本上讲决定于 Si-O 四面体骨干的稳定性。晶体矿物学研究表明, Si-O 四面体中 Si 被 Al 替代程度越高,晶体稳定性越低;配位阳离子 Mg、Ca、Na、K 被 W、Sn、Mo、Cu、Pb、Zn、Au、Ag、U 等成矿元素替代程度越高,晶体稳定性也就越低^[3]。铝饱和指数 $w(Al_2O_3)/[w(CaO) + w(Na_2O) + w(K_2O)]$ ^[4] 恰好能刻画这种消长关系。故笔者对山西境内 210 个中生界和前寒武系中酸性岩体的铝饱和指数进行了统计,利用铝饱和指数评价中酸性岩浆岩的含矿性,并进一步利用异常下限法,计算出相一致的分界值。

1 山西省中酸性侵入岩分布

山西省境内中酸性侵入岩集中在两个时期,分别是前寒武纪和中生代(燕山期)。前寒武系中酸性岩包括花岗岩、二长花岗岩、斜长花岗岩、石英二长岩、花岗闪长岩、石英闪长岩,广泛分布在五台

—恒山、云中山、吕梁山、中条山、晋北天镇等地带(图 1),累计出露面积约 2 200 Km²,其中有独立化学成分数据的岩体共 84 处(表 1)^[5]。

中生界中酸性岩侵入岩集中分布在五台—恒山、天镇、中条山等区带(图 1),累计出露面积约 200 km²。形成时代大多为燕山中期,个体出露面积均不大,一般为数平方千米,有独立化学成分数据的岩体共 126 处(表 2)^[6]。

2 山西境内中酸性岩铝饱和指数特征

铝饱和指数最早由 Shand^[7] 提出,是花岗岩分类的一个重要指标。20 世纪 70~80 年代人们认识到过铝花岗岩与稀有金属矿床成因联系密切,对过铝花岗岩的研究备受重视^[8],一般把全岩的铝饱和指数大于 1.0 作为过铝花岗岩的重要标志。从目前了解的情况看,利用铝饱和指数评价岩体中成矿元素活化能力方面的例子还不太多。

根据 $A/CNK=w(Al_2O_3)/[w(CaO)+w(Na_2O)+w(K_2O)]$ 计算表 1、表 2 中 210 个岩体的铝饱和指数(表 3、表 4),计算数据引自《山西省前寒武纪花岗岩》^[5] 及《山西省中生代中酸性侵入岩》^[6] (单位为百分含量)。因篇幅所限,表中只列出了岩体代

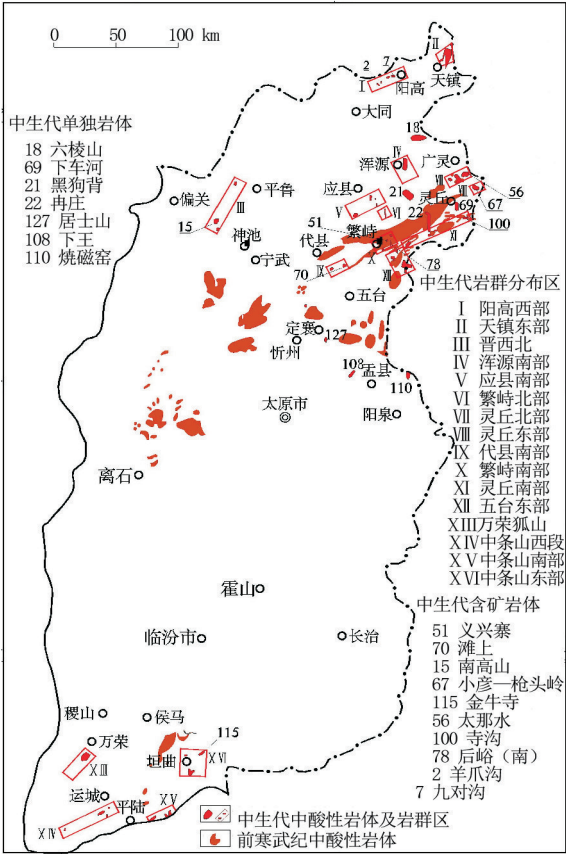


图 1 山西省中酸性侵入岩分布

表 1 山西省前寒武纪中酸性侵入岩体

代号	岩石名称及类型	代号	岩石名称及类型	代号	岩石名称及类型
1	芦芽山(紫苏)辉石石英二长岩	29	北台花岗岩	57	杨圪台(东)中细粒黑云母花岗岩
2	芦芽山辉石石英二长岩中粗粒黑云母花岗岩	30	光明寺片麻状黑云奥长花岗岩	58	娄儿上中细粒黑云母花岗岩
3	芦芽山辉石细粒花岗岩	31	光明寺二长花岗岩	59	周家沟—杨湾顶部粗伟晶状花岗岩
4	虎头山辉石二长岩	32	楼房底—清凉社片麻状二长花岗岩	60	周家沟—杨湾顶部中粒花岗岩
5	二道边辉石二长岩	33	楼房底—清凉社片麻状奥长花岗岩	61	周家沟—杨湾顶部细粒花岗岩
6	莲花山黑云母花岗岩	34	石佛片麻状花岗闪长岩(口泉)	62	周家沟—杨湾内部细粒花岗岩
7	凤凰山角闪花岗岩	35	石佛片麻状奥长花岗岩山(塘湾以南)	63	柞木沟花岗岩
8	凤凰山细粒花岗岩	36	石佛片麻状奥长花岗岩(南塔、石佛)	64	蛤蟆石黑云母花岗岩
9	黄金山花岗斑岩	37	石佛片麻状二长花岗岩(拐沟、马蹄沟)	65	悬钟村黑云母花岗岩
10	瓦扎坪花岗岩	38	兰芝山中粒(二长)花岗岩	66	云中山边缘细粒花岗岩
11	戎家庄花岗岩	39	兰芝山似眼球状花岗岩	67	云中山中部粗粒花岗岩
12	土岭口花岗岩	40	兰芝山巨斑状(奥长)花岗岩	68	云中山晚阶段中细粒花岗岩
13	贾家峪花岗岩(含金矿)	41	五台大寨口—木去顶—石磊片麻状石英闪长岩	69	陈家湾似斑状花岗岩
14	均才花岗岩	42	五台大寨口—木去顶—石磊片麻状奥长花岗岩(含金矿)	70	安子坪中粒花岗岩
15	平型关混合花岗岩	43	来湾南片麻状石英闪长岩体(含金矿)	71	寺头片麻状花岗岩
16	大西堡细粒花岗岩	44	大洼梁钠质花岗斑岩(含金矿)	72	袁家村花岗岩(片麻状)
17	鸽子洞 细粒花岗岩	45	惠家庄中—中粗粒黑云母花岗岩	73	烟庄中部相近等粒花岗岩
18	老爷庙似斑状花岗岩(含金矿)	46	惠家庄细粒黑云母花岗岩	74	烟庄边部相斑状花岗岩
19	马圈花岗岩	47	来堡—两夹岔中粗粒花岗岩	75	北峪花岗岩
20	王家会片麻状花岗岩	48	后岭地中粗粒花岗岩	76	磁山花岗岩
21	孟县青崖村片麻状花岗岩	49	大草坪粗粒似斑状黑云母花岗岩	77	野猫滩花岗岩
22	孟县石家塔片麻状花岗岩	50	苏家湾中细粒黑云母花岗岩	78	神仙岭杂岩体肉红色花岗岩
23	独峪片麻状花岗岩	51	市庄中细粒黑云母花岗岩	79	神仙岭杂岩体角闪黑云花岗岩
24	峨口片麻状复式花岗岩	52	杨圪台南 中细粒黑云母花岗岩	80	神仙岭杂岩体辉石闪长岩
25	峨口片麻状(钠)奥长花岗岩	53	真武庙中细粒黑云母花岗岩	81	铜矿峪 K 交代花岗斑岩(含铜矿)
26	智存沟奥—钠长石花岗岩(含金矿)	54	北海山中细粒黑云母花岗岩	82	铜矿峪变石英斑岩(含铜矿)
27	智存沟粗粒二长花岗岩	55	寨底中细粒黑云母花岗岩	83	铜矿峪钠化变石英晶屑凝灰岩(含铜矿)
28	北台片麻状奥长花岗岩(含金矿)	56	新窑上中细粒黑云母花岗岩	84	铜矿峪钠化变石英二长斑岩(含铜矿)

表 2 山西省中生代中酸性侵入岩体

代号	岩石名称及类型	代号	岩石名称及类型	代号	岩石名称及类型
1	青尖坡石英二长(斑)岩	43	罗家窰石英长石斑岩	85	茶坊子花岗闪长斑岩
2	羊爪沟石英二长(斑)岩(含金矿)	44	长城沟花岗闪长斑岩	86	茶坊子含石英正长闪长岩
3	大岔沟石英二长(斑)岩	45	长城沟石英长石斑岩	87	茶坊子含辉石正长闪长岩
4	七对沟二云母花岗岩	46	黄杨树花岗岩斑岩	88	庄旺正长闪长岩
5	马牙山石英斑岩	47	鹊沟石英二长斑岩脉	89	庄旺花岗斑岩
6	九对沟花岗斑岩	48	孙(家)庄花岗斑岩	90	庄旺煌斑岩
7	九对沟长石石英斑岩(阳高西)(含金银矿)	49	孙(家)庄花岗闪长斑岩	91	老潭沟细粒花岗斑岩(脉)
8	九对沟石英斑岩	50	孙(家)庄含石英正长闪长岩	92	老潭沟花岗斑岩
9	朱家沟正长闪长岩	51	义兴寨火山颈相及岩脉相霏细斑岩(含金矿)	93	老潭沟钾长石化正长闪长岩
10	朱家沟闪长玢岩	52	义兴寨火山颈相及岩脉相石英斑岩	94	老潭沟石英正长闪长岩
11	阎王鼻子花岗闪长斑岩脉	53	义兴寨火山颈相及岩脉相流纹状石英斑岩	95	老潭沟黑云辉石正长闪长岩
12	吴家湾辉石闪长岩	54	义兴寨火山颈相及岩脉相次石英斑岩(南山火山颈)	96	刘庄花岗岩
13	大泉沟石英正长闪长岩	55	义兴寨火山颈相及岩脉相次石英斑岩(河湾火山颈)	97	刘庄二长花岗岩
14	磨石山含石英正长闪长岩	56	太那水花岗闪长斑岩(含金矿)	98	刘庄似斑状花岗闪长岩
15	南高山石英斑岩(含金矿)	57	孙庄—石家窑花岗闪长斑岩	99	寺沟花岗闪长岩
16	六棱山花岗闪长斑岩	58	龙须山石英闪长玢岩	100	寺沟石英斑岩(含金矿)
17	六棱山花岗闪长岩	59	南县沟闪长玢岩	101	西庄正长闪长岩
18	六棱山黑云母二长花岗岩	60	白北堡正长辉长岩	102	育秧沟正长闪长岩
19	黑狗背边缘相细粒黑云母花岗岩	61	白北堡辉石正长闪长岩	103	育秧沟正长闪长玢岩
20	黑狗背过渡相中粗粒黑云母花岗岩	62	白北堡正长闪长玢岩	104	串岭正长闪长岩
21	黑狗背中心相似斑状黑云母花岗岩	63	白北堡石英闪长玢岩	105	西庄花岗斑岩
22	冉庄黑云母花岗岩	64	白北堡花岗闪长斑岩	106	育秧沟花岗斑岩
23	铁瓦殿边缘相细粒斑状花岗岩	65	刁泉花岗斑岩	107	串岭花岗斑岩
24	铁瓦殿过渡相细粒黑云母花岗岩	66	刁泉石英斑岩	108	下王正长闪长岩
25	铁瓦殿内部相中粗粒黑云母花岗岩	67	小彦—抢头岭花岗斑岩(含金银矿)	109	下王正长辉长岩
26	古花岩细粒似斑状黑云母花岗岩	68	大梁山花岗斑岩	110	烧磁窑闪长岩
27	古花岩中粒似斑状黑云母花岗岩	69	下车河花岗斑岩	111	孤山花岗闪长岩
28	山塘湾中部相细粒似斑状花岗岩	70	滩上石英斑岩(含金矿)	112	大西沟二长花岗岩
29	山塘湾边缘相细粒花岗岩	71	滩上长石斑岩	113	望仙正长闪长岩
30	盘道花岗岩	72	滩上花岗闪长斑岩	114	王茅花岗闪长岩
31	碓臼花岗岩	73	鹿骨崖石英二长岩	115	金牛寺石英斑岩(含金矿)
32	大底—黑崖中心相中细粒斑状角闪黑云母花岗岩	74	鹿骨崖石英正长闪长岩	116	三门峡石英闪长玢岩
33	大底—黑崖过渡相细粒似斑状含角闪黑云母花岗岩	75	后峪(南)花岗闪长岩	117	南头岭一带花岗闪长斑岩
34	大底—黑崖边缘相细粒似斑状黑云母花岗岩	76	后峪(南)正长闪长岩	118	南头岭一带石英正长斑岩
35	刘家沟正长闪长岩	77	后峪(南)石英正长岩	119	蚕坊边缘相花岗闪长岩
36	岔口边缘相石英斑岩	78	后峪(南)花岗岩(含铜钼矿)	120	蚕坊过渡相花岗闪长岩
37	岔口过渡相相似斑状花岗岩	79	后峪(西)二长花岗岩	121	蚕坊中心相花岗闪长岩
38	岔口中心相斑状二长花岗岩	80	耿庄石英长石斑岩	122	凤凰咀石英闪长玢岩
39	岔口石英闪长玢岩	81	耿庄流纹斑岩	123	相家窑花岗闪长岩
40	青磁窑长石斑岩	82	耿庄花岗闪长岩	124	水峪银洞梁花岗闪长岩(边缘)
41	小窝单花岗闪长斑岩	83	耿庄蚀变正长闪长岩	125	水峪银洞梁花岗闪长岩(中部)
42	小银厂花岗斑岩	84	茶坊子硅化花岗闪长斑岩	126	水峪银洞梁花岗闪长斑岩

表 3 山西省前寒武纪中酸性侵入岩体铝饱和指数

代号	A/CNK	代号	A/CNK	代号	A/CNK	代号	A/CNK	代号	A/CNK	代号	A/CNK	代号	A/CNK
1	1.312	13	1.8	25	1.686	37	1.421	49	1.438	61	1.578	73	1.501
2	1.429	14	1.691	26	1.889	38	1.504	50	1.446	62	1.424	74	1.434
3	1.35	15	1.256	27	1.404	39	1.327	51	1.458	63	1.372	75	1.691
4	1.252	16	1.506	28	1.747	40	1.529	52	1.424	64	1.366	76	1.423
5	1.164	17	1.467	29	1.615	41	1.672	53	1.454	65	1.398	77	1.555
6	1.313	18	1.754	30	1.732	42	1.752	54	1.411	66	1.37	78	1.406
7	1.319	19	1.349	31	1.586	43	2.342	55	1.582	67	1.242	79	1.516
8	1.352	20	1.297	32	1.518	44	1.912	56	1.393	68	1.457	80	1.326
9	1.181	21	1.386	33	1.743	45	1.43	57	1.657	69	1.392	81	2.659
10	1.599	22	1.409	34	1.358	46	1.459	58	1.422	70	1.394	82	2.772
11	1.492	23	1.404	35	1.352	47	1.361	59	1.295	71	1.304	83	1.93
12	1.659	24	1.384	36	1.338	48	1.363	60	1.378	72	1.54	84	1.982

注:表中黑体字号对应的岩体,是目前已查明与中小型以上金、银、铜、钼等矿床有关的成矿岩体^[9]。表 4 同

表 4 山西省中生代中酸性侵入岩体铝饱和指数

代号	A/CNK	代号	A/CNK	代号	A/CNK	代号	A/CNK	代号	A/CNK	代号	A/CNK	代号	A/CNK
1	1.52	19	1.429	37	1.516	55	1.598	73	1.264	91	1.394	109	1.043
2	1.817	20	1.377	38	1.567	56	1.78	74	1.352	92	1.436	110	1.682
3	1.443	21	1.391	39	1.694	57	1.658	75	1.248	93	1.385	111	1.469
4	1.42	22	1.511	40	0.019	58	1.612	76	1.613	94	1.365	112	1.71
5	1.22	23	1.668	41	1.568	59	1.143	77	1.427	95	1.35	113	1.324
6	1.491	24	1.49	42	0.008	60	1.211	78	1.792	96	1.501	114	1.632
7	1.831	25	1.442	43	1.911	61	1.216	79	1.481	97	1.722	115	2.139
8	1.556	26	1.421	44	1.395	62	1.276	80	1.534	98	1.435	116	1.444
9	1.401	27	1.375	45	1.487	63	1.438	81	2.828	99	1.528	117	1.419
10	1.33	28	1.413	46	1.438	64	8.955	82	1.466	100	1.783	118	1.614
11	1.496	29	1.488	47	1.443	65	1.32	83	1.706	101	1.489	119	1.563
12	1.285	30	1.428	48	1.483	66	1.317	84	4.978	102	1.218	120	1.5
13	1.501	31	1.381	49	1.457	67	2.19	85	1.393	103	1.408	121	1.413
14	1.396	32	1.388	50	1.317	68	1.414	86	1.314	104	1.317	122	1.459
15	1.957	33	1.468	51	1.942	69	1.464	87	1.138	105	1.643	123	1.554
16	1.346	34	1.463	52	1.432	70	1.899	88	1.18	106	1.834	124	1.411
17	1.354	35	1.338	53	1.437	71	1.55	89	1.538	107	1.751	125	1.551
18	1.445	36	1.57	54	1.451	72	1.388	90	1.253	108	1.381	126	1.438

表 5 山西省含矿中酸性岩成矿元素含量及铝饱和指数

时代	代号	岩体名称及类型	含矿种	Al ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	A/CNK
中生代	51	义兴寨火山颈相及岩脉相霏细斑岩	金矿	12.97	0.51	2.12	4.05	1.942
	70	滩上石英斑岩	金矿	13.69	0.6	6.22	0.39	1.899
	15	南高山石英斑岩	金矿	15.52	1.02	3.77	3.14	1.957
	67	小彦—抢头岭花岗岩	银金矿	14.26	0.29	4.51	1.71	2.190
	115	垣曲金牛寺石英斑岩	金矿	15.83	0.26	3.11	4.03	2.139
	56	太那水花岗闪长斑岩	金矿	15.4	1.62	4.88	2.15	1.780
	100	寺沟石英斑岩	金矿	13.34	0.41	3.7	3.37	1.783
	78	后峪(南)花岗岩	铜钼矿	12.85	1.68	3.34	2.15	1.792
	2	羊爪沟石英二长(斑)岩	金矿	14.72	0.47	4.93	2.7	1.817
前寒武纪	7	九对沟长石石英斑岩(堡子弯)	金银矿	12.65	0.31	6.27	0.33	1.831
	43	来湾南石英闪长岩	金矿	16.91	0.26	0.74	6.22	2.342
	44	大洼梁钠质花岗斑岩	金矿	14.07	0.41	0.27	6.68	1.912
	81	铜矿峪 K 交代花岗斑岩	铜矿	15.5	0.67	4.53	0.63	2.659
	82	铜矿峪变石英斑岩	铜矿	16.77	0.53	5.28	0.24	2.772
	83	铜矿峪钠化变石英晶屑凝灰岩	铜矿	17.18	1.51	3.1	4.29	1.930
	84	铜矿峪钠化变石英二长斑岩	铜矿	16.29	1.23	2.79	4.2	1.982
	26	智存沟奥长—钠长花岗岩	金矿	13.45	0.85	2.23	4.04	1.889
	13	贾家峪花岗岩	金矿	12.69	1.16	3.62	2.27	1.800
	18	老爷庙似斑状花岗岩	金矿	13.79	0.71	3.85	3.3	1.754
	28	北台片麻状黑云奥长花岗岩	金矿	14.78	2.9	1.3	4.26	1.747
	42	大寨口-木去顶-石磊片麻状奥长花岗岩	金矿	14.86	1.82	2.09	4.57	1.752

注:Al₂O₃、CaO、Na₂O、K₂O 含量单位为 10⁻²

号与铝饱和指数 A/CNK 值。表中黑体字号对应的与中小型以上金、银、铜、钼等矿床有关的成矿岩体^[9]中,前寒武纪含矿岩体有 11 个,中生代含矿岩体 10 个,共计 21 个。这些成矿岩体的 Al₂O₃、CaO、Na₂O、K₂O 百分含量值及铝饱和指数值单独列于表 5。

由表 5 可知,前寒武纪和中生代成矿岩体的铝饱和指数值均大于 1.7,即纵观山西省 210 个中酸性岩的含矿性和铝饱和指数,已发现的成矿岩体与非

矿岩体间的铝饱和指数存在一个突变性分界值,大于 1.7 多为成矿岩体,小于 1.7 一般为非矿岩体。进一步从表 5 看出,较大规模矿床的铝饱和指数值更大一些,显著超过了 1.7。如铜矿峪为中条山最大铜矿床,岩体铝饱和指数高达 2.772;义兴寨为山西最大金矿,岩体铝饱和指数值为 1.942;小彦—抢头岭(刁泉)为山西省最大银矿,岩体铝饱和指数值为 2.90。由此可见,中酸性岩体铝饱和指数增大可能更有利于成矿。

3 铝饱和指数下限值的统计意义

为了进一步考察上述中酸性侵入岩铝饱和指数与成矿关系的概率统计意义,分别根据表 3、表 4 铝饱和指数值做直方图,直观显示较为对称的正态分布,并计算了平均值、标准差、分布峰度和偏度(图 2、图 3)。

两图正态分布的峰度分别为 10.74 和 64.78,都远超过标准正态分布峰度值(3);变差系数也较小,表明铝饱和指数值稳定集中在较窄的范围内(1.38 附近)。另一方面,曲线偏度均大于零,为右偏态,

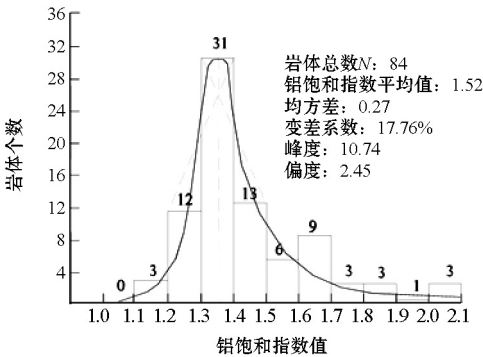


图 2 前寒武纪中酸性岩体铝饱和指数分布

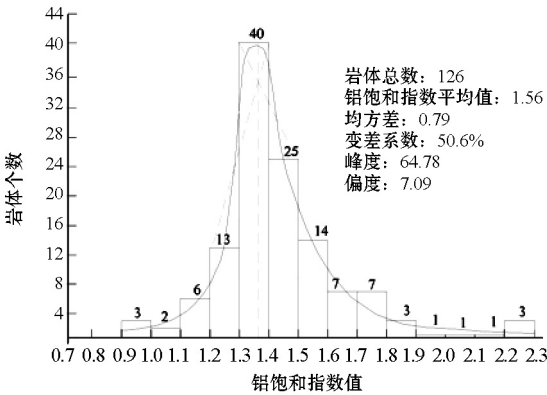


图 3 中生代中酸性岩体铝饱和指数分布

说明不稳定部分集中在右侧高值部分,铝饱和指数越高变化越大。

从正态分布对称性讲,前寒武纪岩体铝饱和指数右对称点在 1.7 部位,中生代岩体右对称点在 1.8 部位,和实际统计的结果基本一致,即右侧对称点以外部分为异常,1.7~1.8 这一分界值可视作异常下限,反映在原始正态分布基础上叠加了成矿作用。

4 铝饱和指数下限值计算方法

由上述分布特征可知,铝饱和指数异常下限值可用正态分布方法来求取。在 210 个岩体中目前已发现 21 个含矿岩体,占到 10%。尽管不排除其他岩体的含矿性,但 10% 这一比例符合自然规律,也是通常所取的地质异常范围。正态总体样本落在 $(X-nS, X+nS)$ 区间内的概率为 90% 时, n 取值约为 1.65,区间以外为异常^[10],故一般以 $T=X+1.65S$ 计算异常下限。

在求取异常下限之前,一般先以 $T=X+3S$ 为界限进行多次迭代剔除离散值^[11]。相对于岩体中的微量元素, Al_2O_3 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 等常量成分变化较为平稳,剔除时应适当降低 n 取值。本次剔除离散值时 n 取值为 2.5。

表 6 是对前寒武纪 84 个中酸性岩体铝饱和指数下限值的计算结果,先按 $T=X+3S$ 经过三次剔除,再根据 $T=X+1.65S$ 计算得到异常下限值为 1.6915,与含矿岩体铝饱和指数最低值 1.747 的相对偏差仅为 3.5%。

表 7 是对中生代 126 个中酸性岩体铝饱和指数的计算结果,在第一次剔除时,将两个低值(40号 0.019 和 42 号 0.008)也作为离散值剔除掉。通过三次剔除求得异常下限为 1.7095,与含矿岩体的铝饱和指数最低值 1.780 的相对偏差仅为 4.0%。

表 6 山西省前寒武纪中酸性岩铝饱和指数异常下限计算

处理次数	平均值	标准差	异常下限	剔除界限	剔除对象(岩体编号)	样品数
1	1.5185	0.2697	1.9635	2.1928	43 号、81 号、82 号	84
2	1.4788	0.1732	1.7646	1.9118	44 号、83 号、84 号	81
3	1.461	0.1513	1.7106	1.8393	26 号	78
4	1.4554	0.1431	1.6915	1.8132	已无可剔除值	77

表 7 山西省中生代中酸性岩铝饱和指数异常下限计算

处理次数	平均值	标准差	异常下限	剔除界限	剔除对象(岩体编号)	样品数
1	1.5607	0.7860	2.8576	3.5257	64 号、84 号、40 号、42 号	126
2	1.4975	0.2256	1.8697	2.0615	67 号、115、81 号	122
3	1.4710	0.1661	1.7451	1.8863	15 号、43 号、51、70、	119
4	1.4594	0.1516	1.7095	1.8384	已无可剔除值	115

由此可见,根据异常计算方法可求得上述岩体中划分成矿岩体的铝饱和指数的临界值。

5 铝饱和指数的成矿机理意义

上述铝饱和指数实质上反映了中酸性岩体中 Al_2O_3 、CaO、 Na_2O 、 K_2O 主量成分相对变化引发的成矿作用。究竟反映了一种什么样的成矿作用机理,下面从岩石结晶学方面作初步讨论。

中酸性岩的主要造岩矿物一般有角闪石、黑云母、钾长石、钠奥长石等,也是成矿元素以类质同象方式赋存的主要载体矿物^[12]。如含Zn普通角闪石 $CaNa(Mg,Fe,Zn)_4[AlSi_4O_{11}](HO)_2$;含Cu黑云母 $K\{(Mg,Fe,Cu)[AlSi_3O_{10}](HO)_2\}$;含Ag钠长石 $(Na,Ag)[AlSi_3O_8]$;含Pb钾长石 $(K,Pb)[AlSi_3O_8]$ 等。这些成矿元素占据晶体中K、Na、Ca、Mg等配位阳离子晶格位置,要从这些晶格中释放出来,则需要整个晶体发生“崩溃”解体,而决定整个晶体能否“崩溃”的主体因素则是Si-O四面体的稳定性。

对于Si-O四面体来讲,Si被Al替代程度越大,其稳定性越趋降低。同时,Si被Al替代程度越大,配位离子K、Na、Ca、Mg等被Cu、Zn、Pb、Ag等替代的量越多。由此可见,晶体中Al的相对增加和K、Na、Ca、Mg的相对降低,有益于Cu、Pb、Zn、Au、Ag、Sb、Mo等成矿元素在造岩矿物晶体中富集和释放^[13],而铝饱和指数恰好能反映这种关系,显然可作为评价中酸性岩含矿性的一项重要指标。

进一步讲,矿物晶体都有固定的熔点,也有相应固定的分解崩溃点,在受到一定温压的热液作用时,这些造岩矿物晶体不是渐变分解,而是在达到一定临界状态时暴发集体性崩溃。而铝饱和指数的增大,会降低矿物晶体的崩溃临界点。由此可以推断,在同一温压的成矿动力条件下^[14],山西省境内部分岩体由于铝饱和指数达到1.7~1.8,使得岩体内一些造岩矿物优先发生分解崩溃,释放出大量成矿元素,在一定构造空间聚集成矿。

6 结论与建议

通过对山西境内前寒武纪及中生代210个中酸性岩体铝饱和指数的计算与对比,结合目前已发现的含矿性岩体,发现铝饱和指数值变化与岩体的含矿性有一定的关联,存在一个明显的突变性分界值(1.7),大于这一数值的岩体基本为含矿岩体,小于这一数值的岩体一般为非矿岩体。龙灵利等对山西堡子弯与金、铜矿密切相关的二长花岗(斑)岩研

究,取得铝饱和指数值为1.97^[15],印证了这一观点。

分析铝饱和指数分布特征,通过正态分布方法定量求取异常下限值。从岩石结晶学角度分析了铝饱和指数对反映中酸性岩体含矿性的实质意义,即岩体中有关造岩晶体矿物在铝质增多的情况下,晶体的稳定性发生了改变,在一定外因条件下突发性集中释放成矿元素。

总之,对山西境内210个中酸性岩体的计算对比研究表明,利用铝饱和指数判别岩体的含矿性,是利用常量元素预测成矿的一个重要手段,是对微量成矿元素预测评价的重要补充。

关于铝饱和指数与成矿作用的内在机理值得进一步探讨研究,例如在文献[16]中,滇西南大麦地锡矿区花岗岩闪长岩铝饱和指数值大于1则对成锡矿成矿有利,因此1.7~1.8这一分界值的通用性需要进一步验证,可能在不同的地区环境中有不同的计算结果。

致谢:在编写过程中得到山西省地球物理化学勘查院总工刘仁亮先生的悉心指导,在此谨致以深切谢意!

参考文献:

[1] 袁见齐,朱上庆,翟裕生.矿床学[M].北京:地质出版社,1985:21-24.
[2] 张德会.成矿作用地球化学[M].北京:地质出版社,2003:311-324.
[3] 潘兆橹.结晶学与矿物学(下册)[M].北京:地质出版社,1994:102-110.
[4] 廖忠礼,莫宣学.过铝花岗岩的研究动向与进展[J].沉积与特提斯地质,2004,24(2):22-24.
[5] 武铁山.山西省前寒武纪花岗岩[R].山西省地矿局区调队,1984:7-149.
[6] 武铁山.山西省中生代中酸性侵入岩[R].山西省地矿局区调队,1983:5-106.
[7] 许东晴,聂凤军,江思宏,等.内蒙古苏莫查干地区燕山期过铝质花岗岩研究[J].岩石矿物学杂志,2008,27(2):90-91.
[8] 林广春,马昌前.过铝花岗岩的成因类型与构造环境研究综述[J].华南地质与矿产,2003(1):65-66.
[9] 山西省地质调查院.山西省地质矿产说明书附表(1:500 000)[R].山西省地质勘查局,2008:104-112.
[10] 吴锡生.化探数据处理方法[M].北京:地质出版社,1993:36-39.
[11] DZ/T 0248-2014 岩石地球化学测量技术规程[S].中华人民共和国国土资源部.
[12] 韩吟文,马振东.地球化学[M].北京:地质出版社,2003:62-65.
[13] 叶天竺,吕志成,庞振山.勘查区找矿预测理论与方法[M].北京:地质出版社,2003:15-21.

[14] 田永清,王建安,余克忍,等.山西省五台山—恒山地区脉状金矿成矿的地球动力学[J].华北地质矿产杂志,1998,13(4):308-309.

[15] 龙灵利,王玉往,王京彬,等.山西堡子湾—九对沟金(钼)矿区岩石地球化学特征及其意义[J].矿床地质,2012,31(3):498-500.

[16] 张晓永,彭润民,李忠烈,等.滇西南大麦地锡矿区花岗闪长岩的地球化学特征[J].物探与化探,2012,36(4):568-569.

The application of aluminum saturation index to the evaluation of ore-bearing potential of intermediate-acid magmatic rocks:
A case study of 210 intermediate-acid rock bodies in Shanxi Province

JIN Zhi-Bin

(Shanxi Institute of Geophysical and Chemical Exploration, Yuncheng 044004, China)

Abstract: The application of constant element geochemical characteristics to the evaluation of ore-bearing properties has important significance. In this paper, the authors found that there is a clear boundary value of the aluminum saturation index between the orebody and the barren body among the 210 intermediate-acid rock bodies in Shanxi Province. Aluminum saturation may be an important indicator to reflect the capability of the intermediate-acid magma for releasing the ore-forming elements. The result obtained by the author is of reference value for evaluating ore-bearing potential of intermediate-acid magma in other areas.

Key words: acidic rocks; aluminum saturation index; ore potential evaluation; boundary value

作者简介: 靳职斌(1964-),男,高级工程师,长期从事地球化学勘查找矿工作。